

不同水分条件下施磷位置对冬小麦生长发育及产量的影响

马政华¹,寇长林¹,康利允^{1,2*}

(1. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所,河南 郑州 450002;
2. 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,陕西 杨凌 712100)

摘要:设2个水分处理、4个施磷处理和2个品种处理,水分设灌溉(W1)和干旱(整个生育期无灌溉,W2)2种处理,施磷设不施磷(CK)、表施磷(SP)、深施磷(DP)和侧深施磷(DBP)4种处理,供试冬小麦品种选用水分敏感型(小偃22)和抗旱型(长旱58)2个品种,探讨不同水分条件下施磷位置对冬小麦生长发育及产量的影响,旨在找出旱地农业最佳水肥处理方式。结果表明,在干旱胁迫条件下,深施磷处理较表施磷处理可以在一定程度上延长生育期。干旱胁迫和磷素缺乏对冬小麦株高、干物质积累有一定的抑制作用。土壤干旱条件下,深层施磷有利于抗旱性较强小麦穗干质量增加,而对水分敏感型小麦品种小偃22则无此趋势。方差分析表明,品种、水分、施磷位置、品种×水分及品种×水分×施磷位置显著影响冬小麦产量。其中,施磷位置对冬小麦产量的影响因土壤水分和品种不同而异。2种水分条件下,小偃22产量表现为上层施磷(SP)处理高于深层施磷(DP,DBP)处理,但三者间差异不显著。对于长旱58来说,W1条件下,深层施磷(DP和DBP)处理较上层施磷(SP)处理减产,但三者间差异不显著;W2条件下,深层施磷(DP和DBP)处理产量显著高于上层施磷(SP)处理,分别增产15.8%、16.2%。无论是否灌溉,2个冬小麦品种收获指数均表现为深层施磷(DP和DBP)处理高于上层施磷(SP)处理,其中小偃22差异不显著,长旱58差异显著,尤其在W2条件下更为明显。但产量和收获指数在DP与DBP处理间均无显著差异。说明干旱胁迫条件下深层施磷对抗旱性较强冬小麦产量形成有明显促进作用。

关键词: 土壤水分; 施磷位置; 冬小麦; 生物量; 产量

中图分类号: S512.1;S143.2;S158.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2016)02-0049-07

Influence of Phosphorus Application in Different Soil Depth on Growth and Yield of Winter Wheat under Different Water Conditions

MA Zhenghua¹, KOU Changlin¹, KANG Liyun^{1,2*}

(1. Institute of Plant Nutrient, Resources and Environment, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: The experiment consisted of two water treatments, four phosphorus treatments and two cultivar treatments in a randomized complete block design. The two water treatments were irrigation (W1) and no irrigation (W2) in the whole growth period of winter wheat, the four phosphorus treatments included no application of phosphorus (CK), surface application of phosphorus (SP), deep application of phosphorus (DP) and deep-band application of phosphorus (DBP), and the two cultivars were drought-sensitive

收稿日期:2015-08-21

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201103003);黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室专项(10502-Z4)

作者简介:马政华(1974-),男,河南巩义人,助理研究员,硕士,主要从事土壤、植物营养方面的研究。

E-mail:mazhh2008@126.com

*通讯作者:康利允(1981-),女,河南滑县人,助理研究员,博士,主要从事植物营养与旱地农业领域的相关研究。

E-mail:kangliyun2004@126.com

cultivar (Xiaoyan 22) and drought-tolerant cultivar (Changhan 58). In order to find out the best water-phosphorus (P) application method for improving yield of winter wheat grown on the semi-arid Loess Plateau of China, this study evaluated the effects of phosphorus application in different soil depths on growth and yield of winter wheat under different water conditions. The results showed that under drought condition, the winter wheat growth stages extended in DP and DBP treatments, compared with SP treatment. Water stress and the lack of phosphorus were important factors inhibiting height growth and the dry matter accumulation of winter wheat. Under drought condition, the deep application of phosphorus could help to increase the dry weight of spike of drought-tolerant cultivar, however, there was not the above tendency to drought-sensitive cultivar. The wheat yield was significantly influenced by cultivar, water content, phosphorus placement, cultivar \times water content and cultivar \times water content \times phosphorus placement. The effects of phosphorus placement on yield of winter wheat differed from one soil water content and cultivar to another. Under the two water conditions, the yields of Xiaoyan 22 of DP and DBP treatments were higher compared with SP, but there was no significant difference among SP, DP and DBP treatment. For Changhan 58, yields of DP and DBP treatments decreased compared with SP treatment under W1 condition; yields of DP and DBP treatments were significantly higher than that of SP treatment under W2 condition, increased by 15.8%, 16.2%, respectively. Under the two water conditions, the two cultivars harvest index were higher in DP and DBP treatments compared with SP treatment, there was no significant difference for Xiaoyan 22, and significant difference for Changhan 58, especially under W2 condition. Meanwhile, the yield and harvest index were not significantly different between DP treatment and DBP treatment under the two water treatments. It indicated that deep application of phosphorus would be helpful for yield formation of drought-tolerant cultivar under drought stress.

Key words: soil water content; phosphorus placement; winter wheat; biomass; yield

土壤水分状况显著影响作物光合产物分配模式,土壤水分供应不足时有利于增大光合产物向根系分配的比例,导致根冠比增大;土壤水分供应充足时有利于植物地上部发育,导致根冠比减小^[1-2]。有研究认为,干旱胁迫导致叶片分配指数下降,而茎和叶鞘及花后穗分配指数上升^[3];干旱胁迫导致冬小麦光合速率下降,光合产物向籽粒的转移量减少,从而导致减产^[4];另外,随土壤含水量的增加玉米根长、根干质量、地上部干物质积累量也显著增加^[5]。充分的磷素供应能促进小麦灌浆,施磷水平越高,灌浆强度越大,越有利于高产的形成^[6];磷素缺乏,会导致叶绿素含量降低^[7],叶面积减小,影响光合、蒸腾速率,致使光合同化产物减小,产量降低^[8]。土壤养分有效性和作物生长均受土壤水分状况的影响,水分和养分关系密切,二者既相互促进,又相互制约,有明显的交互作用^[9-10]。受传统施肥方式的影响,农田土壤有效养分呈明显的表聚现象^[11],与旱作农业中土壤水分上干下湿的分布出现空间上的错位,对水分、养分高效利用不利。有研究表明,肥料深施使作物生长季湿润土壤中养分有效性持续时间较长,会提高作物对养分的吸收利用能力^[12]。Kirkland 等^[13]研究认为,与表施相比,旱作农业下氮肥深施处理春小麦早期生物量降低 20% ~ 40%,抑制春小麦早期生长发育,但收获期籽粒产量却显著增加 12%;Sharma 等^[14]利用土柱模拟试验

进行研究表明,水分胁迫时,氮肥深施有利于根系下扎,增加深层根系及其比例,从而易于提高产量及水分利用效率;Singh 等^[15]认为,干旱胁迫下磷肥深施(10 ~ 15 cm)处理较浅施(5 ~ 7 cm)处理春小麦地上部生物量和产量分别增加了 43% 和 30%。有关旱作条件下施磷对作物生长发育及产量影响的报道较多,而且大多集中在表层施磷,关于深层施磷的报道较少^[13-15],尚未见关于施磷位置对不同水分敏感性小麦品种生长发育及产量影响的报道。为此,针对黄土高原旱地土壤上干下湿、上肥下瘦的特点,以冬小麦为供试材料,研究不同水分条件下施磷位置对冬小麦生长发育及产量的影响,以期为旱地磷肥合理施用提供一定理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验在中国科学院水利部水土保持研究所长武农业生态试验站进行。试验站位于黄土高原中南部陕甘交界处陕西省长武县洪家镇王东村(35°12'N、107°40'E),海拔 1 220 m,属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均降水量 584 mm,年均气温 9.1 ℃,无霜期 171 d,地下水埋深 50 ~ 80 m,属典型旱作农业区;地貌属高原沟壑区,塬面和沟壑两大地貌单元各占 35% 和 65%;地带性土壤为黑垆土,系统分类名称为简育干润均腐土(Hap-Ustic Isohumisol),母质

是深厚的中壤质马兰黄土,土体结构均匀疏松,通透性好,具有良好的“土壤水库”效应,是黄土高原沟壑区典型代表性土壤。试验地土壤初始有机质、全氮、有效磷、速效钾、无机氮含量分别为 11.5 g/kg、0.78 g/kg、10.6 mg/kg、114.5 mg/kg、3.46 mg/kg。

1.2 试验设计

试验处理包括水分、磷肥和品种 3 个因子。磷肥处理设不施磷(CK)处理、表施磷(SP)处理、深施磷(DP)处理和侧深施磷(DBP)处理;水分处理设灌溉处理(土壤田间持水量的 70%~80%,用 W1 表示)和旱作处理(整个生育期不浇水,用 W2 表示);供试冬小麦品种选用水分敏感型品种小偃 22 和抗旱型品种长旱 58。设计完全方案,共 16 个处理,每处理重复 3 次,随机排列。小区面积 3 m×4 m,水分处理间隔带宽为 3 m。

表施磷肥:将磷肥撒施后旋耕于土壤中;深施磷肥:将 0~20 cm 土层取出,将磷肥撒施后翻施于 30 cm 土层处,然后回填挖出的土;侧深施磷肥:将磷肥沟施于 30 cm 土层处。灌溉处理根据小区土壤含水率和试验设计水分要求分别于 2010 年 12 月 14 日,2011 年 4 月 24 日、5 月 8 日和 6 月 3 日每小区灌溉 20.8 mm,冬小麦全生育期总灌溉量为 83.2 mm。各处理氮肥、磷肥和钾肥作基肥一次施入,每处理氮、磷、钾肥施用量相同,分别为氮(以尿素为氮源,N)210 kg/hm²、磷(以过磷酸钙为磷源,P₂O₅)120 kg/hm²、钾(以硫酸钾为钾源,K₂O)75 kg/hm²。试验于 2010 年 9 月 23 日播种,行间距为 20 cm,播种量分别为 135 kg/hm²(小偃 22)、150 kg/hm²(长旱 58),田间管理同一般田间栽培。

1.3 测定项目及方法

于拔节期、孕穗期、灌浆期、成熟期,每小区随机选取 2 个 1 m 长的样段,连根拔起后剪去根部,分离茎+叶鞘、叶、穗,然后以 75 ℃ 烘干至恒质量,计算小麦茎+叶鞘、叶、穗干质量。收获时,每小区随机选取 4 行,用以测定产量及产量构成因素,计算小麦籽粒产量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003、Sigmaplot 10.0、SPSS 13.0 软件对数据进行作图、方差分析,并采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同水分条件下施磷位置对冬小麦生育进程的影响

对冬小麦生育进程观测(表 1)表明,所有处理

进入返青期的时间一致。从不同品种看,小偃 22 拔节以后各生育时期总体较长旱 58 提前。对水分处理而言,冬小麦灌溉处理下同一品种同一施磷位置孕穗、灌浆及成熟均晚于干旱处理。无论是否灌溉,施磷处理冬小麦两品种成熟均早于 CK,且表施磷处理成熟早于深施磷处理,不同处理间冬小麦成熟时间最大相差近 2 周,深施磷处理与侧深施磷处理之间无差异。说明,在干旱胁迫条件下,深施磷处理较表施磷处理可以在一定程度上延长生育期,进而有利于增加籽粒质量,降低干旱胁迫造成的伤害。

表 1 不同水分条件下施磷位置对冬小麦生育进程的影响

月 - 日						
品种	处理	返青期	拔节期	孕穗期	灌浆期	成熟期
小偃 22	W1CK	01-18	04-10	05-02	05-28	07-01
	W1SP	01-18	04-10	04-29	05-24	06-25
	W1DP	01-18	04-10	05-01	05-27	06-29
	W1DBP	01-18	04-10	05-01	05-27	06-29
	W2CK	01-18	04-08	04-30	05-26	06-28
	W2SP	01-18	04-07	04-25	05-22	06-22
	W2DP	01-18	04-08	04-28	05-26	06-27
	W2DBP	01-18	04-08	04-28	05-26	06-27
	W1CK	01-18	04-13	05-07	06-01	07-03
	W1SP	01-18	04-13	05-05	05-25	06-24
长旱 58	W1DP	01-18	04-13	05-07	05-29	07-01
	W1DBP	01-18	04-13	05-07	05-29	07-01
	W2CK	01-18	04-11	05-01	05-28	06-29
	W2SP	01-18	04-11	05-01	05-24	06-23
	W2DP	01-18	04-11	05-03	05-27	06-27
	W2DBP	01-18	04-11	05-03	05-27	06-27

2.2 不同水分条件下施磷位置对冬小麦株高的影响

株高是冬小麦重要的农艺性状之一,对高产、抗倒等具有相当重要的作用^[16]。由图 1 可知,从不同品种看,长旱 58 株高较小偃 22 高,平均增高 15.5%;从不同水分处理看,与 W1 处理相比,W2 处理小偃 22 和长旱 58 株高分别平均降低 17.7% 和 10.4%,说明干旱对冬小麦株高有一定抑制作用,对水分敏感型品种的抑制作用更为明显。2 种水分条件下,与 CK 相比,两品种施磷(SP、DP、DBP)处理株高分别平均增加 11.3% 和 8.0%,施磷位置(SP、DP、DBP)对冬小麦株高的影响随品种和水分不同而异。对小偃 22 来说,W1 条件下,与 SP 处理相比,DBP 处理显著降低 4.75%,而 SP 与 DP 及 DP 与 DBP 处理间差异均不显著;W2 条件下,则表现为 DP 处理较 SP 处理显著降低 4.64%,而 SP 与 DBP 及 DP 与 DBP 处理间差异均不显著。对长旱 58 来说,2 种水分条件下均为 SP 处理显著高于 DP 和 DBP 处理,而 DP 与 DBP 处理间差异不显著。进一步方差分析发现,品种、水分、施磷位置、品种×水分及品种×水分×施磷位置均极显著影响冬小麦株高(表 2)。

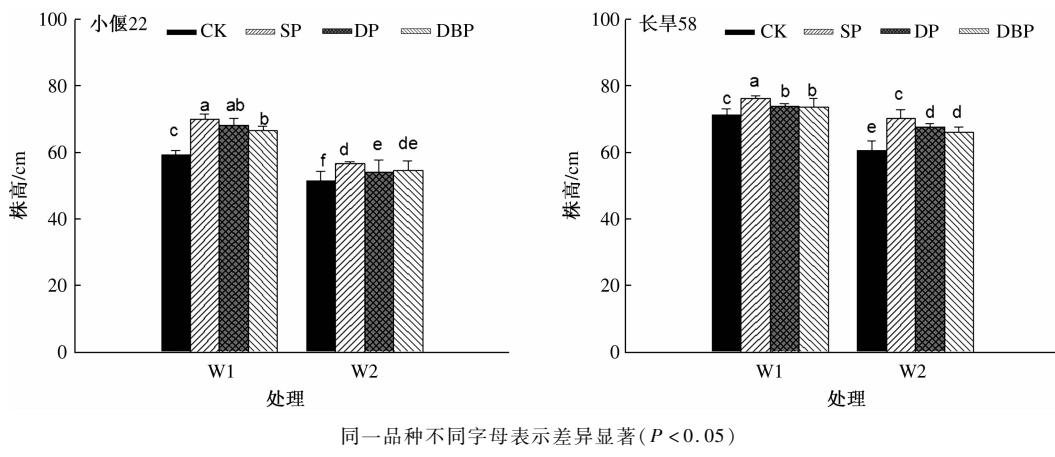


图 1 不同水分条件下施磷位置对冬小麦株高影响

表 2 不同水分条件下施磷位置对冬小麦株高影响的方差分析

变异来源	F 值
品种	721.94 **
水分	699.98 **
施磷位置	75.04 **
品种 × 水分	30.13 **
品种 × 施磷位置	0.57
水分 × 施磷位置	0.29
品种 × 水分 × 施磷位置	10.99 **

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平显著、极显著, 下同。

2.3 不同水分条件下施磷位置对冬小麦地上部干物质积累量的影响

较高的生物量是增加小麦籽粒产量的基础, 但过高的生物量又影响光合产物向籽粒的转运。由图 2 可知, 与 W1 处理相比, W2 处理下干物质积累量降低; 不同生育时期(拔节期、孕穗期、灌浆期和成熟期)的茎+叶鞘、叶、穗干质量(除拔节期)均表现为长旱 58 高于小偃 22, 尤其在干旱胁迫条件下更为明显, 表明抗旱型冬小麦品种光合产物积累量高于水分敏感型冬小麦品种。

施磷位置影响冬小麦不同生育时期的干物质积累量。拔节期、孕穗期、灌浆期、成熟期, 无论是否灌溉, 施磷(SP、DP、DBP)处理 2 个品种茎+叶鞘、叶片干质量均高于 CK, 且 SP 处理高于 DP 和 DBP 处理, 而 DP 与 DBP 处理间无明显差异。对于穗干质量来说, 孕穗期、灌浆期、成熟期, 无论是否灌溉, 2 个冬小麦品种施磷(SP、DP、DBP)处理均高于 CK。施磷位置对穗干质量的影响随品种和土壤水分而异。2 种水分条件下, 小偃 22 孕穗期、灌浆期、成熟期穗干质量均表现为 SP 处理高于 DP 和 DBP 处理, DP 与 DBP 处理间无明显差异。W1 条件下, 长旱 58 穗干质量在孕穗期、灌浆期、成熟期均表现为 SP 处理高于 DP 和 DBP 处理, DP 与 DBP 处理间无明显差异; W2 条件

下, 长旱 58 穗干质量在孕穗期表现为 SP 处理稍高于 DP 和 DBP 处理, 差异较小, 而在灌浆期、成熟期则相反, 表现为 DP 和 DBP 处理高于 SP 处理, 但 DP 与 DBP 处理间无明显差异, 说明干旱胁迫条件下, 磷肥深施更有利于促进抗旱型冬小麦品种的籽粒灌浆, 水分敏感型冬小麦品种则相反。

2.4 不同水分条件下施磷位置对冬小麦产量及其构成因素的影响

由表 3 可知, 无论是否灌溉, 2 个冬小麦品种的有效穗数、穗粒数、千粒质量及产量均表现为施磷(SP、DP 和 DBP)处理高于 CK, 但是不同施磷位置对上述指标的影响因水分及品种而异。2 种水分条件下, 小偃 22 有效穗数表现为 SP 处理高于 DP 和 DBP 处理; W1 条件下, 长旱 58 有效穗数为 SP 处理高于 DP 和 DBP 处理, W2 条件下则相反, 表现为 DP 和 DBP 处理高于 SP 处理。W1 条件下, 小偃 22 和长旱 58 穗粒数均表现为 SP 处理高于 DP 和 DBP 处理; W2 条件下则相反, 表现为 DP 和 DBP 处理高于 SP。W1 条件下, 小偃 22 千粒质量为 SP 处理高于 DP 和 DBP 处理, W2 条件下小偃 22 及 2 种水分条件下长旱 58 均表现为 DP 和 DBP 处理高于 SP 处理。但同一水分条件下 2 个冬小麦品种有效穗数、穗粒数、千粒质量在 SP、DP、DBP 处理间差异均不显著。

2 种水分条件下, 小偃 22 产量均表现为 SP 处理高于 DP 和 DBP 处理, 但 3 个处理之间差异不显著。W1 条件下, 长旱 58 产量表现为 SP 处理高于 DP 和 DBP 处理, 但 3 个处理之间差异不显著; W2 条件下, 长旱 58 产量表现为 DP 和 DBP 处理显著高于 SP 处理, 增幅分别为 15.8% 和 16.2%, 但 DP 和 DBP 处理之间差异不显著。上述结果说明, 干旱胁迫条件下, 深层施磷对抗旱性较强冬小麦产量构成因素有明显促进作用, 进而提高了冬小麦产量。

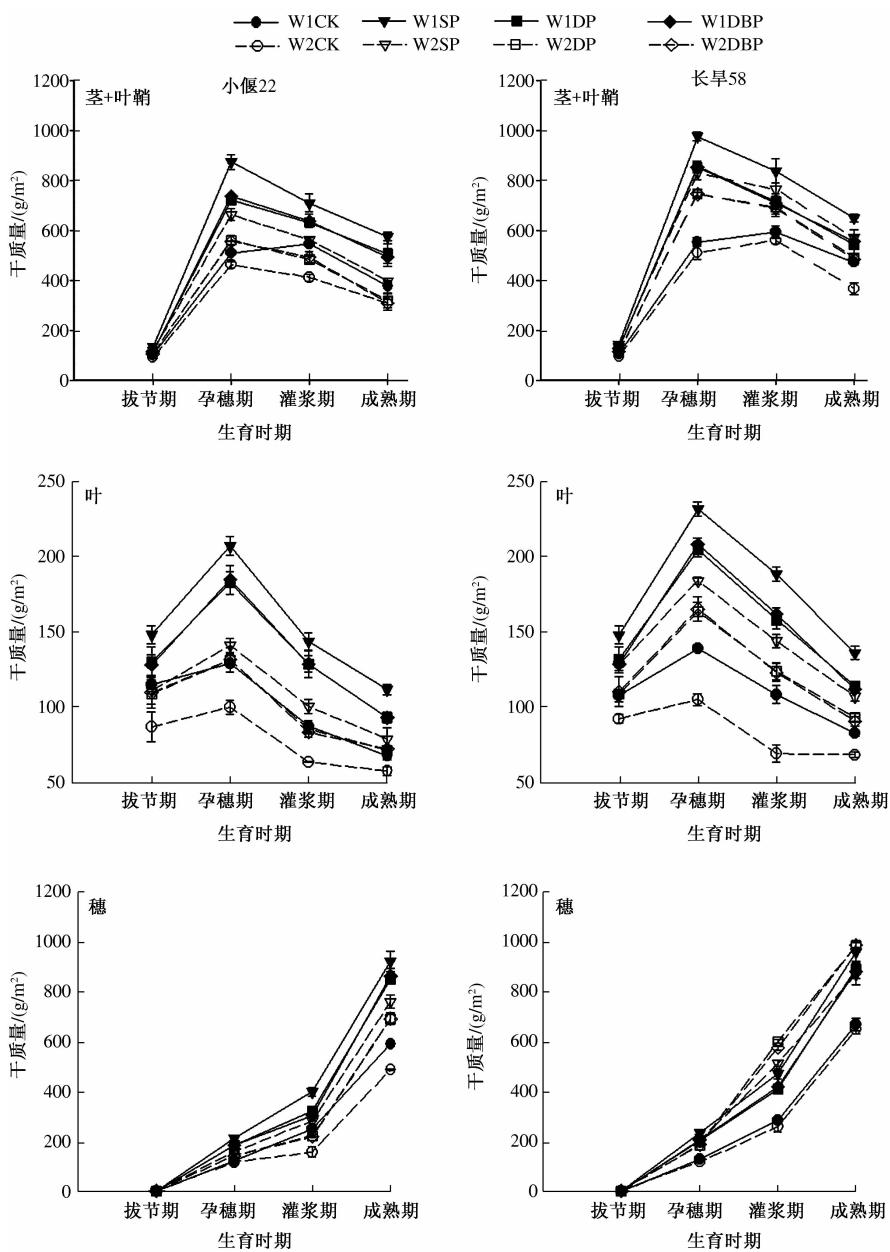


图2 不同水分条件下施磷位置对冬小麦不同生育时期地上部干物质积累量的影响

表3 不同处理冬小麦产量、产量构成因素及收获指数

品种	处理	有效穗数/(穗/hm ²)	穗粒数	千粒质量/g	产量/(kg/hm ²)	收获指数
小偃22	W1CK	3 433b	26.2c	41.2ab	3 538c	0.34ab
	W1SP	3 983a	37.0a	43.2a	5 440a	0.34ab
	W1DP	3 783a	33.1ab	42.1a	5 358a	0.39a
	W1DBP	3 842a	34.2ab	42.2a	5 439a	0.39a
	W2CK	2 792c	31.1bc	38.9b	2 707d	0.32b
	W2SP	3 250b	34.6ab	39.4ab	4 490b	0.36a
	W2DP	3 208b	35.6ab	41.3ab	3 947bc	0.37a
	W2DBP	3 192b	36.1ab	41.1ab	3 966bc	0.37a
	W1CK	3 033b	29.7ab	47.7a	3 925c	0.32b
	W1SP	4 117a	34.8a	47.3a	5 637ab	0.32b
长旱58	W1DP	3 867a	29.7ab	48.2a	5 259ab	0.35a
	W1DBP	3 897a	29.9ab	47.5a	5 171ab	0.35a
	W2CK	2 875b	27.5b	47.8a	3 893c	0.33b
	W2SP	3 875a	28.3ab	48.3a	4 976b	0.32b
	W2DP	4 258a	29.5ab	49.1a	5 763a	0.37a
	W2DBP	4 325a	29.1ab	49.0a	5 784a	0.37a

注:同一列同一品种不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

方差分析(表 4)发现,品种极显著影响冬小麦有效穗数、穗粒数、千粒质量和产量;水分极显著影响冬小麦有效穗数和产量;施磷位置显著影响冬小麦穗粒数,极显著影响有效穗数和产量;品种×水分交互作用极显著影响冬小麦有效穗数和产量,显著影响千粒质量;品种×施磷位置的交互作用极显著影响冬小麦有效穗数,显著影响穗粒数;品种×水分×施磷位置三者交互作用显著影响冬小麦产量。

表 4 不同水分条件下施磷位置对冬小麦产量、产量构成因素及收获指数影响的方差分析(F 值)

变异来源	有效穗数	穗粒数	千粒质量	产量	收获指数
品种	26.81 **	32.59 **	266.96 **	67.03 **	1.78
水分	41.37 **	0.01	1.78	39.52 **	2.09
施磷位置	53.06 **	7.29 *	1.73	88.57 **	31.11 **
品种×水分	52.66 **	3.65	11.06 *	56.91 **	14.84 *
品种×施磷位置	7.99 **	3.48 *	0.41	1.95	6.07 *
水分×施磷位置	0.08	2.46	0.81	1.19	0.89
品种×水分×施磷位置	1.93	0.97	0.59	6.64 *	6.84 *

2.5 不同水分条件下施磷位置对冬小麦收获指数的影响

收获指数指收获的穗部籽粒产量与地上部干物质积累量之比,它与作物光合同化能力及器官的发育建成有关,反映了光合产物向籽粒的分配效率,是重要的生物学参数之一。小麦育种已从长期单纯重视籽粒产量及其构成因素,发展到关注收获指数和生物产量^[17]。由表 3 可知,不同水肥条件下,2 个冬小麦品种收获指数介于 0.32~0.39,差异较大,说明 2 个品种收获指数稳定性不高,易受品种、水肥条件影响。从不同品种来看,小偃 22 收获指数高于长旱 58,平均增加 5.5%。从不同水分条件来看,小偃 22 收获指数总体表现为 W2 处理低于 W1 处理,平均降低 2.7%;长旱 58 则相反,表现为 W2 处理高于 W1 处理,平均增加 3.7%。施磷位置对冬小麦收获指数的影响随品种不同而异。无论是否灌溉,2 个冬小麦品种收获指数均表现为深层施磷(DP 和 DBP)处理高于上层施磷(SP)处理,其中小偃 22 差异不显著,长旱 58 差异显著,尤其在 W2 条件下更为明显,但 DP 与 DBP 处理间均无显著差异。进一步方差分析(表 4)表明,施磷位置极显著影响冬小麦收获指数,品种×水分、品种×施磷位置、品种×水分×施磷位置的交互作用显著影响冬小麦收获指数。

3 结论与讨论

小麦产量受植株形态^[18]、不同时期同化物产量

及分配^[19]的影响。有研究发现,高产型小麦品种株高显著降低,但若太低会减少生物学产量,降低同化率,不利于物质积累,对提高收获指数也不利^[20]。土壤水分供应不足会促进作物营养器官中储存的光合产物向穗部转移,其对籽粒产量的贡献率高达 70%~100%^[3,21]。本试验结果表明,土壤干旱对冬小麦株高有一定抑制作用,对水分敏感型品种尤为明显;磷素缺乏对冬小麦株高也有一定抑制作用,上层施磷(SP)处理株高高于深层施磷(DP 和 DBP)处理。水分供应不足时,孕穗期、灌浆期和成熟期的茎+叶鞘、叶、穗干质量均表现为长旱 58 高于小偃 22,说明干旱胁迫条件下,抗旱型冬小麦品种光合产物积累量高于水分敏感型冬小麦品种。冬小麦生育后期以生殖生长为主,当土壤水分供应不足时,长旱 58 孕穗期穗干质量表现为 SP 处理高于 DP 和 DBP 处理,而在灌浆期、成熟期则相反,表现为 DP 和 DBP 处理高于 SP 处理,但 DP 和 DBP 处理间无明显差异,表明干旱胁迫条件下,深层施磷有利于促进抗旱性较强品种穗干质量增加,利于高产,而对水分敏感型品种则无此趋势。

有研究表明,水分胁迫导致小麦产量、有效穗数、穗粒数下降,而粒质量反而增加^[14,22],肥料深施(10~15 cm)有利于提高作物地上部生物量及产量^[15]。本研究结果表明,土壤水分显著影响冬小麦有效穗数和产量,干旱胁迫使水分敏感型小麦品种有效穗数、产量显著降低,而对抗旱性较强小麦品种抑制作用不明显,甚至有增产趋势。

施磷位置对水分敏感型小麦品种小偃 22 和抗旱性较强小麦品种长旱 58 产量的影响不同。W1 条件下,长旱 58 产量表现为深层施磷(DP 和 DBP)处理低于上层施磷(SP)处理;W2 条件下,长旱 58 产量表现为深层施磷(DP 和 DBP)处理显著高于上层施磷(SP)处理,分别增产 15.8%、16.2%,但 2 种水分条件下 DP 和 DBP 处理间差异均不显著,说明干旱胁迫下深层施磷对抗旱性较强冬小麦品种产量形成有明显的促进作用,这与前人研究结果一致^[23-24]。

参考文献:

- [1] 吴海卿,段爱旺,杨传福.冬小麦对不同土壤水分的生理和形态响应[J].华北农学报,2000,15(1):92-96.
- [2] 汪洪,金继运,周卫.不同水分状况下施锌对玉米生长和锌吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):91-97.
- [3] 谷艳芳,丁圣彦,高志英,等.干旱胁迫下冬小麦光合

- 产物分配格局及其与产量的关系 [J]. 生态学报, 2010, 30(5):1167-1173.
- [4] 邢维芹, 王林权, 骆永明, 等. 半干旱地区玉米的水肥空间耦合效应研究 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 46-49.
- [5] 贺冬梅, 张崇玉, 王丹妮, 等. 玉米拔节期水肥耦合效应研究 [J]. 水土保持研究, 2008, 15(3):164-166.
- [6] 吴克宁, 赵彦峰, 吕巧灵, 等. 潮土区灌浆水和施磷对冬小麦光合作用和产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4):428-434.
- [7] 关军锋, 李广敏. 施磷对限水灌溉小麦根冠及产量的影响研究 [J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(4): 102-105.
- [8] 呂丽华, 李雁鸣, 胡玉昆. 水分胁迫对不同抗旱性小麦品种光合特性及产量性状的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(3):1-5,30.
- [9] Chiatante D, Di Iorio A, Maiuro L, et al. Effect of water stress on root meristems in woody and herbaceous plants during the first stage of development [J]. Plant and Soil, 1999, 217(1/2):159-172.
- [10] 郑彩霞. 限量灌水和施磷对冬小麦生长及养分吸收的研究 [D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2008.
- [11] 慕韩锋, 王俊, 刘康, 等. 黄土旱塬长期施磷对土壤磷素空间分布及有效性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3):424-430.
- [12] Jarvis R J, Bolland M D A. Placing superphosphate at different depths in the soil changes its effectiveness for wheat and lupin production [J]. Fertilizer Research, 1990, 22:97-107.
- [13] Kirkland K J, Beckie H J. Contribution of nitrogen fertilizer placement to weed management in spring wheat [J]. Weed Science Society of America, 1998, 12(3): 507-514.
- [14] Sharma B R, Chaudhary T N. Wheat root growth, grain yield and water uptake as influenced by soil water regime and depth of nitrogen placement in a loamy sand soil [J]. Agricultural Water Management, 1983, 6(4): 365-373.
- [15] Singh D K, Sale P W G, Routley R R. Increasing phosphorus supply in subsurface soil in northern Australia: Rationale for deep placement and the effects with various crops [J]. Plant and Soil, 2005, 269:35-44.
- [16] 董宝娣, 张正斌, 刘孟雨, 等. 小麦不同品种的水分利用特性及对灌溉制度的响应 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(9):27-33.
- [17] 李开峰, 张富仓, 祁有玲, 等. 根区水肥空间耦合对冬小麦生长及产量的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(12):3154-3160.
- [18] 雷振生, 林作楫. 黄淮麦区冬小麦合理株型结构研究 [J]. 华北农学报, 1994, 9(4):27-32.
- [19] 李云, 李金霞, 李瑞奇, 等. 灌水次数和施磷量对冬小麦养分积累量和产量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2010, 30(6):1097-1103.
- [20] Elazab A, Molero G, Serret M D, et al. Root traits and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of durum wheat under different water regimes [J]. Functional Plant Biology, 2012, 39:379-393.
- [21] 李凤民, 鄢珣, 郭安红, 等. 试论麦类作物非水力根信号与生活史对策 [J]. 生态学报, 2000, 20(3): 510-513.
- [22] 陈晓远, 高志红, 刘晓英, 等. 水分胁迫对冬小麦根、冠生长关系及产量的影响 [J]. 作物学报, 2004, 30(7):723-728.
- [23] 方日尧, 赵惠青, 同延安. 渭北旱原冬小麦深施肥沟播综合效应研究 [J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 49-52.
- [24] 刘庚山, 郭安红, 安顺清, 等. 开发利用土壤深层水资源的一种有效途径——“以肥调水”的大田试验研究 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(4):423-429.